

ANÁLISE DE DIMENSIONAMENTO DE SOLO REFORÇADO TIPO TERRA ARMADA

Gabriela Bez Fontana (1), Adailton Antônio dos Santos (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)gabrielabezfontana@yahoo.com.br, (2)adailton@unesc.net

RESUMO

O dimensionamento da estabilidade interna de uma estrutura de contenção tipo terra armada é normatizado pela NBR 9286/86 - Terra Armada – Especificação_ editada e publicada pela ABNT_ Associação Brasileira de Normas Técnicas. Todavia, existem bibliografias especializadas que indicam a utilização de outros métodos de dimensionamento, que assim como a NBR 9286/86, são baseados na teoria geral de mecânica dos solos. De tal forma surgem questionamentos quanto aos critérios de dimensionamento contidos nesses outros métodos. Assim, a dúvida que se põe, dá-se no sentido de verificar se esses métodos geram ou não obras superdimensionadas. Este estudo contemplou uma análise comparativa _da estabilidade interna de uma estrutura de contenção_ entre a metodologia descrita na NBR 9286/86 e no Projeto de Reforço de Fita Metálica para Muros MSE contido na bibliografia de Brajas M. Das - 2007. A escolha pelo método de Brajas, dentre os demais existentes, deu-se devido à sua atualidade e sua vasta utilização como fonte bibliográfica. À consecução dos resultados deste estudo, adotou-se uma obra modelo para aplicação de um quadro comparativo, dos critérios de dimensionamento de ambos os métodos. Observou-se que o método de Brajas, quando comparado ao da NBR 9286/86, gerou um superdimensionamento, devido às diferenças entre as superfícies de ruptura do maciço, os coeficientes de atrito entre o solo e as fitas metálicas e os coeficientes de segurança. Isso pode ser comprovado pelos excessivos comprimentos das fitas metálicas e pelo nímio número de fitas fixadas às placas do paramento exigidas pelo método de Brajas. Logo, infere-se que o método de Brajas mostrou-se excessivamente conservador em seus critérios de dimensionamento, que vão muito além dos necessários para garantir a segurança e estabilidade da obra, tornando-a mais dispendiosa, quando comparada à dimensionada pelo método da NBR 9286/86. Portanto, deve-se preferir o método de Brajas e optar pela Norma Oficial da ABNT, que se mostrou suficiente à estabilização interna da estrutura de contenção tipo terra armada.

Palavras-Chave: Estabilidade Interna. Terra Armada. NBR 9286/86. Brajas.

1 INTRODUÇÃO

Terra armada, ou aterro armado, pode ser definido como um método construtivo cujo objetivo é conseguir um aumento da capacidade de suporte do solo, principalmente a esforços de tração.

A NBR 9286/86 - Terra Armada – Especificação_ editada e publicada pela ABNT_ Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 9286/86), que especifica os critérios oficiais de dimensionamento deste tipo de estrutura, define o método de reforço em terra armada da seguinte forma:

Sistema constituído pela associação do solo de aterro com propriedades adequadas, armaduras (tiras metálicas ou não) flexíveis, colocadas, em geral, horizontalmente em seu interior, à medida que o aterro vai sendo construído, e por uma pele de paramento flexível externo fixado às armaduras, destinando a limitar o aterro. (NBR 9286, 1986, p. 01).

Obras que fazem uso de estruturas de contenção em terra armada são construídas em todo mundo por serem bastante competitivas economicamente e aplicáveis na solução de vários problemas geotécnicos. Esta afirmação dá a exata medida da importância do tema, pela vasta utilização do referido método.

Além dos critérios oficiais de dimensionamento especificados na NBR 9286/86, há na literatura especializada (nacional e internacional), outros métodos que também visam garantir a estabilidade e segurança das obras.

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo geral realizar uma análise comparativa dos critérios utilizados para dimensionamento da estabilidade interna de solo reforçado tipo terra armada, segundo a metodologia da NBR 9286/86, e segundo o Projeto de Reforço de Fita Metálica para Muros MSE contido na bibliografia de Brajas M. Das - 2007 (Brajas).

A adoção pelo método de Brajas, dentre os demais métodos existentes, para a análise comparativa com a NBR 9286/86, deu-se devido à sua atualidade no meio acadêmico e sua vasta utilização como fonte bibliográfica.

À consecução dos resultados deste estudo adotou-se uma obra modelo para aplicação de um quadro comparativo dos critérios de dimensionamento de ambos os métodos. Esta obra faz referência à Memória de Cálculo_ relatório ref. G109-08_ e Projeto Maciço em Sistema Terra Armada da (Interseção I-04) do Lote 29 – BR 101 – SC – Trecho Sul: Araranguá-Sombrio, da empresa Geoinfra Engenharia e Consultoria Ltda., juntamente com o Consórcio Construcap, (Memória de Cálculo e Projeto I-04)

Para atingir o objetivo geral, verificação da estabilidade interna, foi necessário realizar a verificação da ruptura e dos comprimentos necessários das fitas metálicas para cada seção de cálculo.

A ruptura das fitas metálicas foi calculada em duas seções críticas: na seção plena, onde a largura da fita é a nominal, e a ruptura ocorre no interior do maciço; e na seção reduzida, onde a ruptura ocorre no ponto de ligação das fitas metálicas ao paramento, e neste a largura da fita deverá ser reduzida pelo diâmetro do parafuso que as liga.

O comprimento das fitas metálicas deve ser calculado, para ambos os métodos de dimensionamento, na zona de aderência e na zona de ruptura. O comprimento na zona de aderência situa-se no interior do maciço, ficando atrás da superfície de ruptura. Já o comprimento na zona de ruptura encontra-se na parte mais externa do maciço e inicia-se junto às placas do paramento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 EXPOSIÇÃO DE DADOS

A estrutura de contenção escolhida para a realização deste estudo está localizada no km 14+ 453,758 do Lote 29 da obra de duplicação e restauração da Rodovia BR 101/SC, e trata-se de uma obra destinada a desenvolver um melhor acesso à cidade de Sombrio – SC. A Figura 1 identifica o local de implantação da obra referência deste estudo, por meio de uma imagem aérea.

Figura 1 - Local de implantação da obra em estudo



Fonte: Google Earth (2011)

As formações geológicas presentes no trecho de implantação da obra referência deste estudo são Botucatu e Serra Geral. A Formação Botucatu representa a sequência sedimentar da Bacia do Paraná, existente na área do Trecho 29 da BR

101, além das ocorrências de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral que recobrem e cortam localmente aquela unidade geológica. Sobre as duas unidades anteriores encontram-se os depósitos Cenozóicos (Depósito Flúvio-Lagunares, Colúvio-Aluvionares e depósitos Aluvionares), representados por areias, argilas e cascalhos.

2.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE INTERNA

A análise da estabilidade interna de um solo reforçado tipo terra armada tem por objetivo garantir a integridade da estrutura de contenção, de maneira que sejam verificados os seguintes itens: ruptura das fitas metálicas em suas seções plena e reduzida e o comprimento necessário à ancoragem das fitas metálicas. Todos esses itens devem atender aos coeficientes de segurança estipulados pelos métodos adotados no presente trabalho, NBR 9286/86 e Brajas, os quais diferem entre si.

2.2.1 Geometria do aterro e sobrecarga

A partir da Memória de Cálculo e Projeto I-04 foram definidas seções para a verificação das características das fitas metálicas e a sobrecarga atuante. As seções de cálculo foram de 3,00; 3,75; 4,50; 5,25; 6,00; 6,75 e 7,50m, e a sobrecarga de 10kN/m².

2.2.2 Parâmetros geotécnicos do solo de aterro

O material de preenchimento da estrutura de contenção é um solo proveniente da Jazida Santa Clara, que se encontra no lote 29, da obra de duplicação e restauração da Rodovia BR 101/SC.

Para reconhecimento das características deste solo foram realizados ensaios físicos e mecânicos.

Os ensaios de caracterização física foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT), da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Esses ensaios determinaram a granulometria (NBR 7181/84), limite de liquidez (NBR 6459/84) e limite de plasticidade (NBR 7180/84), e com seus resultados foi possível determinar que o

solo analisado trata-se de um A-3, que identificado pelo Sistema Rodoviário de Classificação, *Transportation Research Board* (TRB), é uma areia fina com baixa plasticidade, ou seja, com baixo teor de silte ou argila.

Já os ensaios de caracterização mecânica foram realizados no LMS da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que compreenderam os ensaios de compactação (NBR 7182/86) e de cisalhamento direto. Esse último foi realizado com uma amostra deformada, compactada com energia de compactação de 100% da Proctor Normal. Com tais ensaios foi possível conhecer os parâmetros de resistência mecânica (c e φ) desta areia.

Os parâmetros geotécnicos necessários para as verificações do dimensionamento da estabilidade interna da estrutura de contenção estão relacionados na tabela 1, que identifica o peso específico, umidade ótima e ângulo de atrito interno do solo de aterro, compactados a energia 100% da Proctor Normal. Também há a identificação nesta tabela dos diâmetros referentes a 10 e 60% passante na curva granulométrica.

Tabela 1 – Características do solo de preenchimento da estrutura

Peso específico natural	γ (kN/m ³)	18,00
Umidade ótima para compactação	$w_{ótima}$ (%)	9,62
Diâmetro referente a 60% passante na curva granulométrica	D_{60} (mm)	0,235
Diâmetro referente a 10% passante na curva granulométrica	D_{10} (mm)	0,082
Resistência ao cisalhamento	ϕ' (°)	37,5

Fonte: Gabriela Bez Fontana

2.2.3 Características das armaduras

As fitas metálicas empregadas para reforço da estrutura foram nervuradas galvanizadas do tipo SAE 1010/1020, com tensão de escoamento (f_y) igual a 240000kN/m², e dimensões de 40x4mm (Tipo I) e 60x4mm (Tipo II).

Considerando que a obra em estudo é uma obra não inundável e sua vida útil mínima é de 50 anos, foi necessário adotar uma espessura de sacrifício das fitas metálicas igual a 0,75mm (NBR 9286/86, p.19).

As fitas metálicas são solicitadas em duas seções: plena e reduzida. A primeira considera que a ruptura ocorre no interior do maciço e a segunda considera a verificação da ruptura no ponto de ligação da fita à placa do paramento. Para o cálculo de ambas é necessário conhecer a carga de escoamento da fita (T_r), de acordo com a seguinte equação.

$$T_r = f_y \cdot e_0 \cdot b$$

(1)

Em que: $T_{r,PLENA}$ = carga de escoamento da fita [kN]
 f_y = tensão de escoamento da fita metálica [kN/m²]
 e_0 = espessura nominal da fita [m]
 b = largura nominal da fita metálica [m]

2.2.4 Área de influência das placas

Nas verificações da estabilidade interna da seção considera-se que os espaçamentos horizontais (S_H) e verticais (S_V) entre as fitas são iguais a 0,75m.

Como padrão de partida para o início do dimensionamento foram utilizadas 4 fitas ligadas a cada placa do paramento. Assim, cada fita foi responsável por uma determinada área da placa, chamada de área de influência (A_i), e que pode ser calculada pela equação 2:

$$A_i = \frac{A_p}{N^\circ \text{ de fitas}}$$

(2)

Em que: A_i = área de influência da fita na placa [m²]
 A_p = área da placa [m²]
 N° de fitas = número de fitas em cada placa

2.2.5 Atuação das tensões

As tensões que atuam na estrutura de contenção são provenientes do peso próprio do maciço e da sobrecarga. Tais tensões geram um empuxo ativo que pressiona o maciço de solo às placas do paramento, e que aumentam de acordo com a elevação da altura da seção e da profundidade do aterro sobre o nível de fitas considerado.

A verificação da ruptura e dos comprimentos necessários de cada uma das fitas metálicas foi calculada com base na força de tração máxima nas fitas. A partir das tensões que ocorrem no interior do maciço e da área de influência que cada fita tem sobre a placa do paramento em que está conectada, foi possível conhecer a força de tração máxima em cada nível de fita, que cabe à aplicação de ambos os métodos de dimensionamentos adotados neste estudo. Assim:

$$T_{m\acute{a}x} = \gamma \cdot z \cdot K_a \cdot A_i$$

(3)

Em que: $T_{m\acute{a}x}$ = força de tração máxima nas fitas metálicas [kN]

γ = peso específico na umidade ótima de compactação [kN/m³]

z = profundidade do aterro no nível de fita considerado [m]

K_a = coeficiente de epuxo ativo

A_i = área de influência da fita na placa [m²]

2.2.6 Coeficientes de Segurança

A NBR 9286/86 recomenda como coeficientes de segurança contra a ruptura das fitas (γ_r) e contra o arrancamento das fitas (γ_f) valores iguais a 1,5. Já Brajas recomenda coeficientes de 2,5 a 3.

Para otimizar as verificações entre os métodos de dimensionamento eleitos, adotou-se como referencial ao dimensionamento o coeficiente de 1,5 para a NBR 9286/86, o coeficiente de 3,0 para Brajas, bem como, o coeficiente comparativo de 1,5 aplicado no método Brajas, apenas para possibilitar a confrontação dos resultados entre ambos os métodos.

2.2.7 Verificação da ruptura das fitas metálicas

Na seção plena a força de tração máxima que ocorre no interior do maciço está submetida à $T_{m\acute{a}x}$. Para este caso, a força limite de tração na fita pode se calculada como:

$$NBR\ 9286/86 \rightarrow T_{m\acute{a}x} \leq \bar{T}_{r1} = \frac{T_r}{\gamma_r} \cdot \frac{e_c}{e_0} \quad (4)$$

$$Brajas \rightarrow T_{m\acute{a}x} \leq \bar{T}_{r1} = \frac{T_r}{\gamma_r} \quad (5)$$

Na seção reduzida a força de tração máxima que ocorre no interior do maciço é aplicada no ponto de ligação das fitas ao paramento, e pode ser calculada pelas seguintes equações:

$$NBR\ 9286/86 \rightarrow \alpha \cdot T_{m\acute{a}x} \leq \bar{T}_{r2} = \frac{T_r}{\gamma_r} \cdot \frac{b'}{b} \cdot \frac{e_c}{e_0} \quad (6)$$

$$Brajas \rightarrow T_{m\acute{a}x} \leq \bar{T}_{r2} = \frac{T_r}{\gamma_r} \quad (7)$$

Em que: $T_{m\acute{a}x}$ = força de tração máxima nas fitas metálicas [kN]

\bar{T}_{r1} = força limite de tração das fitas metálicas na seção plena [kN]

\bar{T}_{r2} = força limite de tração na das fitas metálicas na seção reduzida [kN]

T_r = carga de escoamento da fita [kN]

γ_r = fator de segurança contra ruptura das fitas metálicas

e_c = espessura de cálculo [m]

e_0 = espessura nominal [m]
 $\alpha = 0,85$ (para paramentos em escamas típicas de concreto - NBR 9286/86)
 b' = largura da fitas metálicas reduzida pelo diâmetro do parafuso [m]
 b = largura nominal das fitas metálicas [m]

Para o cálculo de b' é necessário reduzir a largura da fita pelo diâmetro do parafuso. O tipo de parafuso utilizado é um M12x30mm, com diâmetro de 13mm, com grau DIN 8.8 e resistência ao cisalhamento de 880 MPa.

2.2.8 Verificação do comprimento das fitas

A análise do comprimento de aderência necessário na zona resistente (L_a) _interior do maciço_ será realizada pela NBR 9286/86 e por Brajas, respectivamente, por meio das equações 9 e 10.

$$NBR\ 9286/86 \rightarrow L_a = \frac{\gamma_f \cdot K_a \cdot A_i}{2 \cdot b \cdot f^*} \quad (8)$$

$$Brajas \rightarrow L_a = \frac{\gamma_f \cdot K_a \cdot A_i}{2 \cdot b \cdot tg \phi'_\mu} \quad (9)$$

Em que: L_a = comprimento de aderência [m]
 γ_f = fator de segurança contra o arrancamento das fitas metálicas
 K_a = coeficiente de empuxo ativo
 A_i = área de influência da fita na placa [m²]
 b = largura nominal das fitas metálicas [m]
 f^* = coeficiente de aderência entre o solo e a fita
 ϕ'_μ = ângulo de atrito entre a fita e o solo.

Para o dimensionamento da NBR 9286/86 o coeficiente relativo ao atrito interno entre material de aterro e as fitas metálicas é f^* e pode ser calculado para cada nível de fitas pelas equações 11 ou 12:

$$f^* = f_0^* \left(1 - \frac{z}{z_0} \right) + tg \phi \left(\frac{z}{z_0} \right), \quad para\ z < z_0 \quad (10)$$

$$f^* = tg \phi, \quad para\ z \geq z_0 \quad (11)$$

Em que: $z_0 = 6\ m$
 ϕ = ângulo de atrito interno do solo [°]
 z = profundidade do aterro no nível de fitas considerado [m]
 f_0^* = coeficiente relacionado aos parâmetros de granulometria, angulosidade dos grãos, ângulo de atrito interno do solo, etc.

$$f_0^* = 1,2 + \log_{10} Cu, \quad sendo\ Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (12)$$

Em que: Cu = coeficiente de uniformidade do aterro

D_{60} = diâmetro correspondente ao ponto de 60%, da porcentagem passante, da curva granulométrica.

D_{10} = diâmetro correspondente ao ponto de 10%, da porcentagem passante, da curva granulométrica.

Brajas não propõe nenhum valor de coeficiente de atrito entre solo e fita. Dessa forma, para este estudo, adotaram-se dois coeficientes, que seguem os seguintes critérios:

a) o ângulo de atrito entre a fita metálica e o solo de aterro é calculado com base na tabela 2, que relaciona ângulos de atrito entre o solo do terrapleno e o muro de contenção (δ). Tal tabela está relacionada com a teoria clássica de empuxo desenvolvida por Coulomb (1773). Considerando que o tipo de fita que está sendo utilizado para os dimensionamentos é rugosa, adota-se $\phi'_{\mu} = \frac{3}{4}\phi$.

Tabela 2 – Ângulos de atrito entre o solo do terrapleno e o muro de contenção.

Muros de parede lisas	$\delta = \frac{1}{3} \phi$
Muros de parede ásperas	$\delta = \frac{2}{3} \phi$
Muros de parede rugosas	$\delta = \frac{3}{4} \phi$

Fonte: MACCAFERRI (2009, p. 109)

b) segundo Marangon (p.160) as opiniões divergem quanto ao valor a ser atribuído a δ , no entanto sabe-se que ele não pode exceder ϕ . Então, adota-se $\phi'_{\mu} = \phi$.

O cálculo do comprimento na zona de ruptura ou ativa (L_r) está expresso nas equações 14, 15 e 16:

$$NBR\ 9286/86 \rightarrow L = 0,3 \cdot H_{mec} - 0,17 \cdot z \quad \text{para } z < 0,6 \cdot H_{mec} \text{ ou,} \quad (13)$$

$$NBR\ 9286/86 \rightarrow L = 0,5 \cdot (H_{mec} - z) \quad \text{para } z > 0,6 \cdot H_{mec} \quad (14)$$

$$Brajas \rightarrow L_r = \frac{H_{mec} - z}{tg\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (15)$$

Em que: L_r = comprimento das fitas metálicas na zona de ruptura [m]

H_{mec} = altura mecânica do maciço [m] $\rightarrow H_{mec} = h_0 + H_{total\ da\ seção}$

z = profundidade do aterro no nível de fitas considerado [m]

ϕ = ângulo de atrito interno do solo

O comprimento total das fitas metálicas em cada nível é determinado pela soma do comprimento de aderência e da zona de ruptura, de acordo com a equação 17.

$$L = L_a + L_r \quad (16)$$

Em que: L = comprimento total das fitas metálicas [m]
 L_a = comprimento de aderência das fitas metálicas [m]
 L_r = comprimento das fitas metálicas na zona de ruptura [m]

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme explanado no decorrer deste estudo, para melhor entendimento dos resultados encontrados, será feita a verificação da ruptura das fitas metálicas e do comprimento necessário dessas separadamente.

3.1 ANÁLISE DA RUPTURA DAS FITAS METÁLICAS

A análise da ruptura das fitas metálicas passa necessariamente pela verificação em suas seções plena e reduzida.

Por questões didáticas analisar-se-ão apenas as verificações concernentes à seção reduzida, uma vez que a ruptura das fitas tem seu ponto crítico nesta seção, sendo por lógico que, se a dimensão da fita for suficiente para atender o coeficiente de segurança contra ruptura na seção reduzida, também o será na seção plena. Isso se deve a redução da largura da fita mediante a inserção do parafuso de ligação, reduzindo assim sua força limite de tração (\bar{T}_{r2}).

A tabela 3 mostra um quadro comparativo entre o tipo e número de fitas necessárias para cada método de dimensionamento, NBR 9286/86 e Brajas. Para um coeficiente de segurança contra a ruptura comparativo igual a 1,5, a NBR 9286/86 é mais conservadora que Brajas. Isso se deve ao fato de que a força limite de tração na fita na seção reduzida (\bar{T}_{r2}) é menor na NBR 9286/86.

Tabela 3 – Análise da ruptura das fitas

Nível de Fitas	NBR 9286/86 ($\gamma_r=1,5$)		Brajas ($\gamma_r=1,5$)		Brajas ($\gamma_r=3,0$)	
	Tipo de Fita	Nº de Fitas	Tipo de Fita	Nº de Fitas	Tipo de Fita	Nº de Fitas
1	I	4	I	4	I	4
2	I	4	I	4	I	4
3	I	4	I	4	I	4
4	I	4	I	4	I	4
5	I	4	I	4	I	4
6	I	4	I	4	I	4
7	I	4	I	4	II	4
8	I	4	I	4	II	4
9	II	4	I	4	II	4
10	II	4	I	4	II	4

Fonte: Gabriela Bez Fontana

Na NBR a força limite de tração nas fitas é reduzida pela multiplicação dos coeficientes de redução de 0,5484 para armaduras do tipo I e 0,6365 para armaduras do tipo II. Esses coeficientes são provenientes da multiplicação entre as espessuras e larguras de cada fita, de acordo com a equação 6.

Utilizando-se um coeficiente de segurança igual a 3,0 em Brajas, exigem-se fitas de maior largura e, embora não ser necessário nos cálculo demonstrado na tabela 3, em maior número, em relação ao coeficiente de 1,5.

Para as três situações de cálculo, as armaduras tendem a ser mais solicitadas com o aumento da profundidade do nível das fitas e, conseqüentemente, com o aumento da altura mecânica da seção de cálculo. Isso em razão de que quanto maior for a camada de solo sobre a fita, maior será o peso do solo, das tensões vertical e horizontal e da força de tração gerada no entorno da fita.

3.2 ANÁLISE DO COMPRIMENTO DAS FITAS METÁLICAS

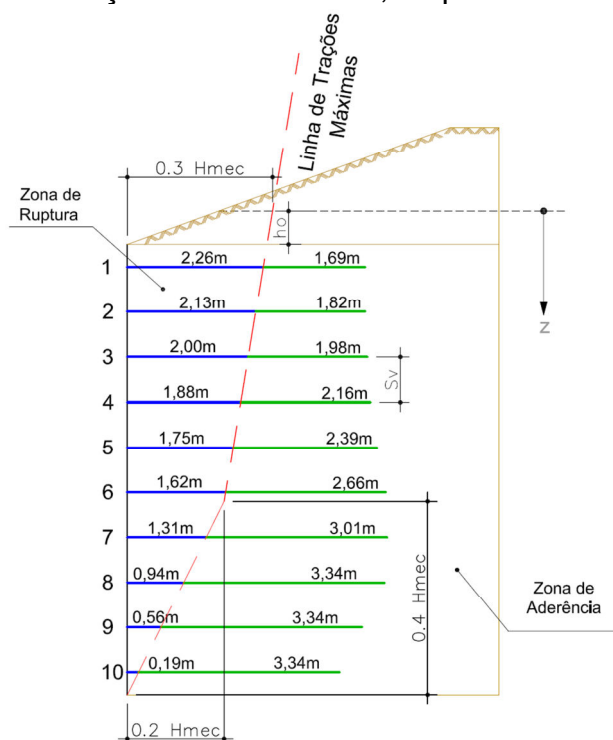
A análise do comprimento das fitas metálicas tem seu lugar somente depois de verificadas as suas condições de ruptura que foram aptas a identificar o tipo e o número de fitas necessárias por placa, em cada nível da seção de cálculo.

Para melhor compreensão dos critérios de cálculo, serão feitos comparativos hipotéticos entre os comprimentos das fitas necessários a cada método de dimensionamento. Nas figuras 2 e 3 estão os dimensionamentos dos comprimentos necessários para as fitas por ambos os métodos e convencionou-se para a seção de 7,50m_a maior delas_ o tipo de fita I e a utilização de 4 fitas por placa, gerando uma área de influência de 0,563m²/fita.

De acordo com a figura 2, para o método de dimensionamento da NBR 9286/86, o comprimento na zona de aderência majora-se com o aumento da altura de aterro sobre a fita. Tal fato acontece pela elevação do valor das tensões atuantes e da redução do coeficiente de aderência entre o solo e a fita (f^*), com o aumento da profundidade. Porém, o comprimento necessário torna-se constante quando z é maior que 6,00m, onde o coeficiente de aderência entre o solo e a fita não pode ser inferior à tangente do ângulo de atrito interno do solo (ϕ).

Então, para a NBR 9286/86, o máximo comprimento na zona ancorada se encontra na profundidade de fitas de 6,00m. Abaixo, em maiores profundidades, mantem-se constante.

Figura 2 – Seção de cálculo de 7,5m para NBR 9286/86



Fonte: Gabriela Bez Fontana

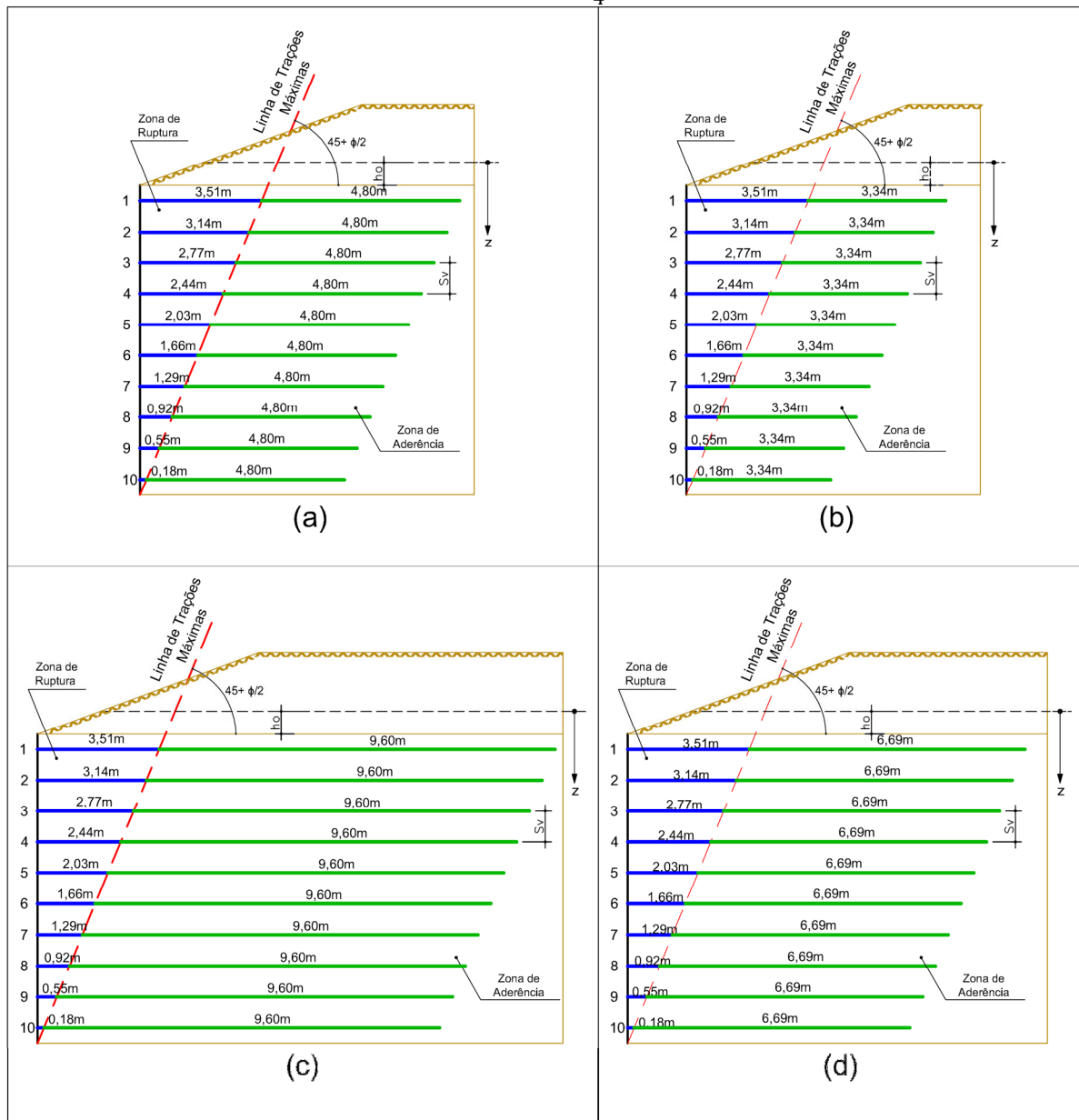
Já para os comprimentos na zona de ruptura, segundo a NBR 9286/86, existem duas formas de cálculo, que levam em consideração a profundidade do aterro:

- até 60% da altura mecânica da estrutura de contenção, o valor do comprimento na zona ativa será 30% da altura mecânica reduzido, de 17% do valor da profundidade z ;
- para profundidades superiores a 60% da altura mecânica, o comprimento na zona ativa será 50% do valor encontrado na redução da profundidade do aterro no nível de fita considerado à altura mecânica da seção.

Assim, na NBR 9286/86, o comprimento na zona de ruptura diminui com a profundidade, devido às maiores tensões de mobilização no pé do maciço.

Como pode ser visto, o comprimento total das fitas dependerá dos comprimentos nas zonas de aderência e de ruptura. De acordo com a figura 2, o máximo comprimento está na profundidade de 5,43m, correspondente ao sétimo nível de fita. Isso significa que o máximo comprimento total_ para qualquer seção de cálculo_ estará em uma profundidade próxima a $z_0=6m$ ou a 60% da altura mecânica.

Figura 3 – Seção de cálculo de 7,5m para Brajas: (a) $\gamma_f = 1,5$ e $\phi'_\mu = \frac{3}{4}\phi$; (b) $\gamma_f = 1,5$ e $\phi'_\mu = \phi$; (c) $\gamma_f = 3,0$ e $\phi'_\mu = \frac{3}{4}\phi$ e (d) $\gamma_f = 3,0$ e $\phi'_\mu = \phi$



Fonte: Gabriela Bez Fontana

Em Brajas _figura 3_ verifica-se que o comprimento na zona de aderência é o mesmo para todos os níveis de fitas, para um mesmo coeficiente de segurança e para um mesmo ϕ'_μ , pois ambos são constantes, em qualquer profundidade do maciço. Identifica-se também, que quanto maior for o coeficiente de segurança contra o arrancamento das fitas, maior será o comprimento na zona de aderência. E para $\phi'_\mu = \phi$ o comprimento necessário é menor que para $\phi'_\mu = \frac{3}{4}\phi$, pois aquele tem maior valor, e consequentemente gera maior aderência.

Com a figura 3 também se verifica que para os níveis de fitas analisados, o comprimento dessas na zona de ruptura, independe do coeficiente de segurança contra o arrancamento ou do ângulo de atrito entre a fita e o solo. O comprimento na zona de ruptura tende a diminuir com a profundidade do nível das fitas, de acordo com a linha de trações máximas, pois no topo do maciço há menor massa de solo para gerar a mobilização.

Então, para Brajas o comprimento total máximo das fitas encontra-se sempre no topo do maciço, pois o comprimento na zona de aderência é constante para qualquer nível de fitas e o maior comprimento na zona de ruptura será no topo.

As verificações dos comprimentos necessários analisados até então _figuras 2 e 3 _ hipotéticas_ foram baseadas nos cálculos de um único tipo de fita e em um mesmo número de fitas por placa. Porém, para que seja atingido o coeficiente de segurança contra a ruptura, com o aumento da profundidade no nível de fitas considerado são necessárias armaduras de maior largura e em maior número.

As tabelas 4 (NBR $\gamma_f = 1,5$) e 5 (Brajas $\gamma_f = 3,0$) fazem um comparativo da influência do tipo de fita e do aumento do número de fitas por placa no comprimento da zona de ancoragem.

De acordo com a tabela 4, alterando-se a largura da fita, e se necessário aumentando o número de fitas por placa, menor será o comprimento necessário na zona ancorada. Tal fato acontece porque com o aumento da largura da fita, maior será a área de contato entre a fita e o solo, e maior será a aderência entre esses.

O mesmo acontece com o aumento do número de fitas por placa, já que desta forma cada fita será responsável por uma menor área da placa.

Tabela 4 – Influências do tipo e número de fitas no L_a – NBR 9286/86

Nível de Fitas	z (m)	NBR 9286/86					
		Tipo de Fita	Nº de Fitas	L_a (m)	Tipo de Fita	Nº de Fitas	L_a (m)
1	0,93	I	4	1,69	I	4	1,69
2	1,68	I	4	1,82	I	4	1,82
3	2,43	I	4	1,98	I	4	1,98
4	3,18	I	4	2,16	I	4	2,16
5	3,93	I	4	2,39	I	4	2,39
6	4,68	I	4	2,66	I	4	2,66
7	5,43	I	4	3,01	I	4	3,01
8	6,18	I	4	3,34	I	4	3,34
9	6,93	I	4	3,34	II	4	2,23
10	7,68	I	4	3,34	II	4	2,23

Fonte: Gabriela Bez Fontana

Segundo a tabela 5, em Brajas, assim como na NBR 9286/86, o aumento da largura também implicará em um menor comprimento de ancoragem.

Tabela 5 – Influências do tipo e número de fitas no L_a – Brajas

Nível de Fitas	z (m)	Brajas ($\gamma_f = 3,0$)							
		Tipo de Fita	Nº de Fitas	La (m)		Tipo de Fita	Nº de Fitas	La (m)	
				$\Phi'u=3\Phi/4$	$\Phi'u=\Phi$			$\Phi'u=3\Phi/4$	$\Phi'u=\Phi$
1	0,93	I	4	9,60	6,69	I	4	9,60	6,69
2	1,68	I	4	9,60	6,69	I	4	9,60	6,69
3	2,43	I	4	9,60	6,69	I	4	9,60	6,69
4	3,18	I	4	9,60	6,69	I	4	9,60	6,69
5	3,93	I	4	9,60	6,69	I	4	9,60	6,69
6	4,68	I	4	9,60	6,69	I	4	9,60	6,69
7	5,43	I	4	9,60	6,69	II	4	6,40	4,46
8	6,18	I	4	9,60	6,69	II	4	6,40	4,46
9	6,93	I	4	9,60	6,69	II	4	6,40	4,46
10	7,68	I	4	9,60	6,69	II	4	6,40	4,46

Fonte: Gabriela Bez Fontana

Conforme as tabelas 6 e 7 se verificam que para ambos os métodos de dimensionamento, o aumento da largura da fita ou do número de fitas por placa, não influencia o comprimento das fitas na zona de ruptura. Tal fato acontece porque o coeficiente de segurança e o ângulo de atrito entre o solo e a fita não tem influência sobre o comprimento de ruptura.

Tabela 6 – Influências do tipo e número de fitas no L_r – NBR 9286/86

Nível de Fitas	z (m)	NBR 9286/86				
		Tipo de Fita	Nº de Fitas	Lr (m)	Tipo de Fita	Nº de Fitas
1	0,93	I	4	2,26	I	4
2	1,68	I	4	2,13	I	4
3	2,43	I	4	2,00	I	4
4	3,18	I	4	1,88	I	4
5	3,93	I	4	1,75	I	4
6	4,68	I	4	1,62	I	4
7	5,43	I	4	1,31	I	4
8	6,18	I	4	0,94	I	4
9	6,93	I	4	0,56	II	4
10	7,68	I	4	0,19	II	4

Fonte: Gabriela Bez Fontana

Tabela 7 – Influências do tipo e número de fitas no L_r – Brajas

Nível de Fitas	z (m)	Brajas ($\gamma_r = 3,0$)							
		Tipo de Fita	Nº de Fitas	Lr (m)		Tipo de Fita	Nº de Fitas	Lr (m)	
				$\Phi'u=3\Phi/4$	$\Phi'u=\Phi$			$\Phi'u=3\Phi/4$	$\Phi'u=\Phi$
1	0,93	I	4	3,51	3,51	I	4	3,51	3,51
2	1,68	I	4	3,14	3,14	I	4	3,14	3,14
3	2,43	I	4	2,77	2,77	I	4	2,77	2,77
4	3,18	I	4	2,40	2,40	I	4	2,40	2,40
5	3,93	I	4	2,03	2,03	I	4	2,03	2,03
6	4,68	I	4	1,66	1,66	I	4	1,66	1,66
7	5,43	I	4	1,29	1,29	II	4	1,29	1,29
8	6,18	I	4	0,92	0,92	II	4	0,92	0,92
9	6,93	I	4	0,55	0,55	II	4	0,55	0,55
10	7,68	I	4	0,18	0,18	II	4	0,18	0,18

Fonte: Gabriela Bez Fontana

Tabela 8 – Comparativo geral de fitas metálicas

Altura da Seção (m)	Nível de Fitas	z (m)	NBR 9286/86			Brajais ($\gamma_r=1,5$)				Brajais ($\gamma_r=3,0$)			
			Tipo de Fita	Nº de Fitas	L (m)	Tipo de Fita	Nº de Fitas	L (m)		Tipo de Fita	Nº de Fitas	L (m)	
								$\Phi'u=3\Phi/4$	$\Phi'u=\Phi$			$\Phi'u=3\Phi/4$	$\Phi'u=\Phi$
3,00	1	0,93	I	4	3,00	I	4	6,50	5,00	I	4	11,00	8,00
	2	1,68	I	4		I	4			I	4		
	3	2,43	I	4		I	4			I	4		
	4	3,18	I	4		I	4			I	4		
3,75	1	0,93	I	4	3,00	I	4	6,50	5,50	I	4	11,50	8,50
	2	1,68	I	4		I	4			I	4		
	3	2,43	I	4		I	4			I	4		
	4	3,18	I	4		I	4			I	4		
	5	3,93	I	4		I	4			I	4		
4,50	1	0,93	I	4	3,50	I	4	7,00	5,50	I	4	12,00	9,00
	2	1,68	I	4		I	4			I	4		
	3	2,43	I	4		I	4			I	4		
	4	3,18	I	4		I	4			I	4		
	5	3,93	I	4		I	4			I	4		
	6	4,68	I	4		I	4			I	4		
5,25	1	0,93	I	4	3,50	I	4	7,50	6,00	I	4	12,00	9,50
	2	1,68	I	4		I	4			I	4		
	3	2,43	I	4		I	4			I	4		
	4	3,18	I	4		I	4			I	4		
	5	3,93	I	4		I	4			I	4		
	6	4,68	I	4		I	4			I	4		
	7	5,43	I	4		I	4			II	4		
6,00	1	0,93	I	4	4,00	I	4	8,00	6,50	I	4	12,50	10,00
	2	1,68	I	4		I	4			I	4		
	3	2,43	I	4		I	4			I	4		
	4	3,18	I	4		I	4			I	4		
	5	3,93	I	4		I	4			I	4		
	6	4,68	I	4		I	4			I	4		
	7	5,43	I	4		I	4			II	4		
	8	6,18	I	4		I	4			II	4		
6,75	1	0,93	I	4	4,00	I	4	8,00	6,50	I	4	13,00	10,00
	2	1,68	I	4		I	4			I	4		
	3	2,43	I	4		I	4			I	4		
	4	3,18	I	4		I	4			I	4		
	5	3,93	I	4		I	4			I	4		
	6	4,68	I	4		I	4			I	4		
	7	5,43	I	4		I	4			II	4		
	8	6,18	I	4		I	4			II	4		
	9	6,93	II	4		I	4			II	4		
7,50	1	0,93	I	4	4,50	I	4	8,50	7,00	I	4	13,50	10,50
	2	1,68	I	4		I	4			I	4		
	3	2,43	I	4		I	4			I	4		
	4	3,18	I	4		I	4			I	4		
	5	3,93	I	4		I	4			I	4		
	6	4,68	I	4		I	4			I	4		
	7	5,43	I	4		I	4			II	4		
	8	6,18	I	4		I	4			II	4		
	9	6,93	II	4		I	4			II	4		
	10	7,68	II	4		I	4			II	4		

Fonte: Gabriela Bez Fontana

Com os dimensionamentos realizados para cada seção de cálculo foi possível elaborar um quadro comparativo entre o tipo, número por placa e comprimento total das fitas adotados, dando assim uma melhor visão dos reforços (fitas metálicas) necessários à cada método analisado, podendo ser elencados os seguintes pontos comparativos:

a) os menores comprimentos totais são encontrados no dimensionamento da NBR 92986/86, independente da altura da seção de cálculo. Isso se deve ao fato de que na NBR 9286/86, o coeficiente de aderência entre o solo e a fita varia com a profundidade, o que não acontece em Brajais;

- b) com o aumento da profundidade é necessário utilizar fitas com maior largura, que gerem maior carga de escoamento;
- c) com o aumento da profundidade é necessário utilizar um maior número de fitas por placa, para que cada fita seja responsável por uma menor área de influência;
- d) há um aumento excessivo no comprimento das fitas quando se utiliza um coeficiente de segurança igual a 3,0, comparado ao coeficiente de 1,5.

4 CONCLUSÕES

Os estudos realizados puderam fornecer uma melhor compreensão do funcionamento da estrutura de solo reforçado tipo terra armada.

Os parâmetros de norma são a base para que um dimensionamento atenda aos coeficientes de segurança necessários a estabilidade da estrutura.

Este trabalho mostra a verificação da ruptura da seção das fitas metálicas poder realizada na seção reduzida pelo conexão à placa do paramento, uma vez que a ruptura das fitas tem seu ponto crítico nesta seção, sendo por lógico que, se a dimensão da fita for suficiente para atender o coeficiente de segurança contra ruptura na seção reduzida, também o será na seção plena.

O ponto significativo deste trabalho foi mostrar que o método de dimensionamento de Brajas tende a ser muito conservador, comparado ao método de dimensionamento da NBR 9286/86.

Com um coeficiente de segurança igual 1,5 o método de Brajas apresentou um aumento no comprimento total das fitas médio de 51,15% para $\phi'_{\mu} = 3\phi/4$ e 39,45% para $\phi'_{\mu} = \phi$, quando comparado aos encontrados pela NBR 9286/86. E com um coeficiente de segurança igual a 3,0, o aumento foi de 70,31% para $\phi'_{\mu} = 3\phi/4$ e 61,23% para $\phi'_{\mu} = \phi$.

Os fatores que levam à diferenciação entre os métodos de dimensionamento da estabilidade interna da NBR 9286/86 e de Brajas são:

- a) o coeficiente de segurança especificado em Brajas é o dobro do especificado pela NBR 9286/86;
- b) o coeficiente de atrito entre o solo e as fitas metálicas especificado na NBR 9286/86 varia com a profundidade do aterro. Para Brajas este coeficiente é constante;

c) a superfície de ruptura especificada segundo a NBR 9286/86 é mais adequada, uma vez que é determinada com base em monitoramentos realizados em obras reais. Já Brajas, fundamenta seus cálculos em uma superfície de ruptura plana, ou seja, baseia-se na teoria geral de mecânica dos solos.

Conclui-se que Brajas mostrou-se excessivamente conservador em seus critérios de dimensionamento, que vão muito além dos necessários para garantir a segurança e estabilidade da obra, tornando-a mais dispendiosa, quando comparado ao método da NBR 9286/86. Portanto, com base neste estudo, identifica-se que o uso da NBR 9286/86 é mais recomendado do que o método de Brajas.

Como este trabalho fez menção apenas ao dimensionamento da estabilidade interna, sugere-se para trabalhos futuros que também seja analisada a influência da estabilidade externa da estrutura de contenção, bem como sua influência no dimensionamento da estabilização interna.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do limite de liquidez: Método de ensaio:** NBR 6459, 1984.

_____. **Determinação do limite de plasticidade: Método de ensaio:** NBR 7180. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Análise granulométrica: Método de ensaio:** NBR 7181. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Ensaio de compactação: Método de ensaio:** NBR 7182. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Terra Armada: Especificação:** NBR 9286. Rio de Janeiro, 1986.

DAS, Braja M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** Thomson Learning. São Paulo, 2007. 551p.

Geoinfra Engenharia e Consultoria Ltda. / Consórcio Construcap. **Memória de Cálculo_ relatório ref. G109-08_ e Projeto Maciço em Sistema Terra Armada da (Interseção I-04) do Lote 29 – BR 101 – SC – Trecho Sul: Araranguá-Sombrio, da empresa.**

MACCAFERRI. **Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos:** Manual Técnico. São Paulo: Maccaferri do Brasil, 2009. 321 p.

MARANGON, Márcio. **Apostila de Mecânica dos Solos.** Universidade Federal de Juiz de Fora - NuGeo / Núcleo de Geotecnia: Minas Gerais. 192 p.